

*Коробов Ю.С., Шумяков В.И., Филиппов М.А.,
Невежин С.В., Жилин А.С.*
ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет
им. первого Президента России Б.Н. Ельцина»,
г. Екатеринбург

СТРУКТУРА И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ НАПЫЛЕННЫХ ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ Fe-Cr-C-Ti С МЕТАСТАБИЛЬНЫМ АУСТЕНИТОМ

Разработанная технология и аппараты для активированной дуговой металлизации позволяют наносить кондиционные покрытия из металлических сплавов различных структурных классов, повышающих износостойкость деталей машин [4–6], что позволяет в ряде случаев заменять наплавку более экономичной технологией напыления. Особый интерес для использования в этой технологии представляют сплавы, показавшие высокую износостойкость в наплавленном состоянии, в частности, содержащие углеродистый метастабильный аустенит в качестве структурной составляющей.

Цель работы – провести изучение фазового состава, структуры и упрочнения наплавленного металла состава 150X8T2 (ППМ-6) с карбидными фазами и метастабильным аустенитом и износостойкости в процессе абразивного изнашивания в сравнении с аналогичными показателями покрытий, нанесенных с помощью порошковой проволоки методом активированной электродуговой металлизации состава близкого к 150X8T2. Напыление производилось тонкими слоями до общей толщины покрытия 1,0–1,3 мм на торцы ударных образцов и пластины из нормализованной стали 30. Использована методика изнашивания по закрепленному образцу, реализованная на специальной установке, смонтированной на базе строгального станка. Образцы с площадью рабочей части 10 x 10 мм с нанесенным покрытием совершали возвратно-поступательное движение по шлифовальной бумаге 14A32МН481 на корундовой основе. Путь трения образца за одно испытание составлял 60 м под удельной нагрузкой 1 МПа. Покрытия впоследствии подвергались сорокакратному обкатыванию шариком при скорости движения 0,158 м/с под нагрузкой 10 Н.

Металлографический анализ поперечных шлифов покрытий показал, что структура покрытия имеет типичный слоистый, волнообразный и завихренный характер расположения структурных составляющих. Толщина слоев составляет преимущественно 5–10 мкм. Травление выявляет несколько характерных цветов и оттенков структурных составляющих: преобладающие фрагменты белого цвета вытянутой формы чередуются с темно-серыми, се-

ро-голубыми и черными различной величины и конфигурации, однако доминирует ленточная форма компонентов структуры. В процессе напыления произошло достаточно хорошее соединение с основанием, трещин не обнаружено, окисный слой тонкий, имеются редкие утолщения или пустоты, граница между покрытием и основанием имеет зигзагообразную конфигурацию. Микроструктура поверхности покрытия после выравнивающей полировки также представляет собой нерегулярный мозаичный набор дисперсных структурных составляющих различной величины, формы и цвета. Отличие морфологии структурных составляющих в поперечном сечении и поверхности слоя напыленного покрытия состоит в том, что во втором случае фрагменты структуры размером в основном 10–50 мкм имеют овальную, округлую или неправильную форму, а по цветовой гамме повторяют описанную в поперечном сечении. Это различие обусловлено тем, что наружная поверхность ориентирована к потоку частиц под углом, близким к прямому, и расплавленные частицы, ударяясь о подложку, кристаллизуются в относительно равномерные по направлениям фрагменты.

Рентгеноструктурный и локальный микрорентгеноспектральный анализы покрытия состава 150X8T2 в характерных точках поверхности покрытия, показали, что по фазовому составу покрытие представляет собой совокупность металлической основы (в количестве около 70 %), первичных карбидов титана (TiC), карбидов хрома типа M_7C_3 , а также комплексов, состоящих из карбидов и оксидных фаз. Фазовый состав металлической основы представляет собой мартенсит и остаточный аустенит, количество которого составляет около 50 %. Средняя микротвердость покрытия составляет 5,8–6,7 ГПа.

Аустенит в металлической основе покрытий так же, как и в наплавленном сплаве, метастабилен и претерпевает мартенситное превращение при нагружении. Дисперсные кристаллы мартенсита деформации на поверхности изнашивания создают высокий уровень упрочнения, повышая сопротивление царапанию и микрорезанию. Наличие 50 % аустенита в напыленном металле позволяет реализовать потенциальные возможности металла в увеличении стойкости в условиях ударно-абразивного воздействия.

В процессе контактного нагружения при обкатывании покрытия происходит деформационное упрочнение мартенсита. Стали со структурой мартенсита склонны к интенсивному деформационному упрочнению, которое обеспечивает достижение высоких значений пределов текучести и прочности. Характерным для механических свойств стали, деформированной в мартенситном состоянии, является особенно значительное повышение сопротивления малым пластическим деформациям.

Остаточный аустенит в процессе обкатывания покрытия также наклепывается и кроме того, вследствие своей метастабильности, претерпевает мартенситное превращение, повышающее релаксационную способность структуры и увеличивающее ее способность к деформационному упрочнению. При абразивном изнашивании выделяется дополнительное количество мартенсита, что способствует более сильному наклепу аустенита и вызывает деформационное упрочнение вновь возникшего мартенсита. При обкатывании количество мартенсита увеличилось на 20 %, а при абразивном изнашивании – на 40 % (табл. 1).

Таблица 1

Изменение фазового состава напыленного покрытия типа 150X8T2 до и после нагружения поверхности

Вид испытаний	$(\gamma/\alpha)_1$	$(\gamma/\alpha)_2$
Контактное нагружение обкатыванием	50/50	30/70
Абразивное изнашивание		10/90

Результаты измерений микротвердости напыленного покрытия до и после абразивного изнашивания приведены в табл. 2. Известно, что эффект упрочнения метастабильных аустенитных сталей в процессе пластической деформации в интервале температур $M_n - M_d$ определяется тремя основными факторами: 1) деформационным упрочнением аустенита; 2) количеством, прочностью и распределением образующихся при деформации кристаллов мартенсита; 3) наклепом кристаллов мартенсита деформации. Благодаря тому, что действие двух последних факторов, вносящих существенный вклад в упрочнение, присуще только сталям с метастабильным аустенитом, эти стали или в данном случае структурные составляющие наплавленного металла и покрытий обладают более высокой способностью к деформационному упрочнению, чем близкие по составу стабильные аустенитные стали, наплавленный металл или покрытия.

Таблица 2

Микротвердость поверхности образцов после напыления покрытия порошковой проволокой состава 150X8T2 до и после испытаний на износостойкость при абразивном изнашивании

Марка проволоки	Микротвердость исходная, МПа	Микротвердость после изнашивания, МПа
150X8T2	5900	7800
Основа (сталь 30)	1875	

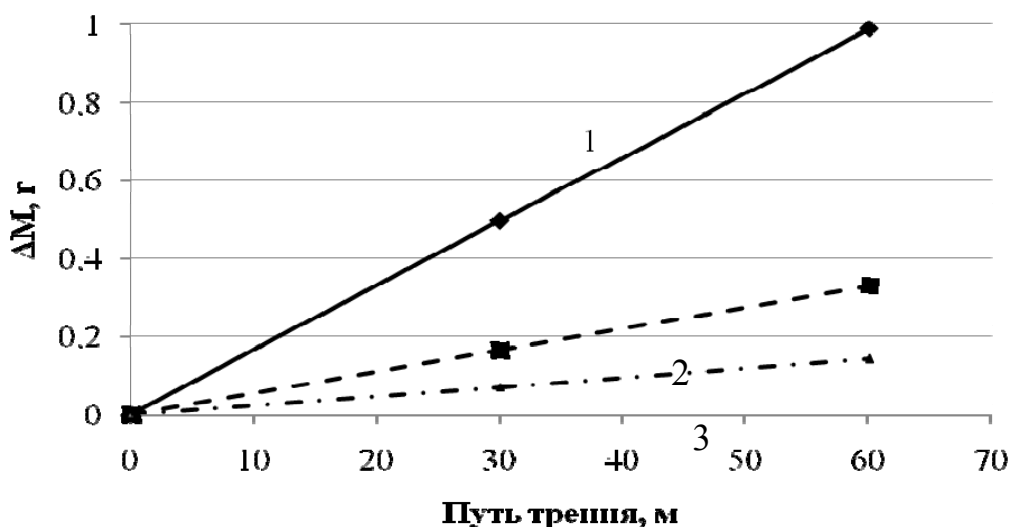


Рис. 1. Зависимость потери массы образцов стали 30 от пути трения: 1 – без покрытия; 2 – с напыленным покрытием; 3 – с наплавленным покрытием. Исходный материал - порошковая проволока марочного состава 150X8T2

Для оценки износостойкости при испытании по закреплённому абразиву ввели коэффициент K_M , учитывающий потери массы образца без покрытия к образцу с покрытием или наплавленным сплавом 150X8T2 образца:

$$K_M = \Delta M_O / \Delta M_{\Pi} = 0,96 / 0,33 = 3 \text{ – для образцов с покрытием;}$$

$$K_M = \Delta M_O / \Delta M_n = 0,96 / 0,16 = 6 \text{ – для образцов с наплавленным металлом.}$$

Различие в износостойкости между наплавленным сплавом и напыленным покрытиями (рис. 1) обусловлено тем, что покрытие, полученное газотермическим напылением, это слоистый материал из сильно деформированных напыленных частиц, соединенных между собой по контактными поверхностям сварными участками. Сварные участки не заполняют всю площадь контакта, поэтому прочность и плотность материала покрытия меньше, чем в компактном состоянии. В структуре слоя наблюдаются границы раздела (с окисной прослойкой, между частицами), микропустоты и многофазность (металлические фрагменты (около 70 %), окислы и комплексы, состоящие из окислов и карбидов). Плотность напыленного покрытия составляет 80–95 % плотности компактного материала. В процессе движения по поверхности покрытия абразивных частиц последние внедряются и производят царапание и микрорезание, разрушающие в первую очередь пограничные участки и поры в покрытии, вследствие чего изнашивание покрытия ускоряется по сравнению с наплавленным металлом.

Таким образом, газотермические покрытия, нанесенные порошковой проволокой состава 150X8T2, представляют собой микрогетерогенный композиционный диссипативный материал с метастабильным аустенитом и позволяют повысить абразивную стойкость малоуглеродистой стали в 3 раза, а наплавленный металл этого же состава – в 6 раз.